

JURNAL

# POWERPLANT

*Nofirman;  
Yusuf Rasyid*

**Pengaruh Kegagalan Terhadap Kinerja Chiller**

*Vendy Antono;  
Win Alfalah;  
Rizky Windani*

**Analisa Kegagalan Platen Tube Superheater PLTU Teluk Sirih**

*Eko Sulistiyo;  
Utami Wahyuningsih;  
M. Arif Rahman Sutisna*

**Analisis Head Losses Pada Penstok Unit III Di Perum Jasa Tirta II Unit Jasa Pembangkit PLTA Ir. H.Djuanda**

*Sahlan*

**Kajian Terkait Industri Material HANKAM Dan Kebencanaan Dari Sisi Pasar**

*Vendy Antono;  
Arief Suardi Nur Chairat;  
Muhammad Husnuddin*

**Analisa Kerusakan Roda Gigi Cacing Pada Gearbox Air Preheater PLTU UJP Banten 3 Lontar Unit 1**

*Prayudi;  
Roswati Nurhasanah*

**Studi Eksperimental Kinerja Clod Storage Mini dengan Refrigerant R2 dan R404A**

*Hendri;  
Suhengki;  
Amru Fathony Lubis*

**Pengaruh Fouling Terhadap Laju Perpindahan Panas Pada Superheater Boiler CFB PLTU Sebalang**

*Sri Yayi;  
Jumiati;  
Intan Ratna Sari Yanti*

**Pengaruh Jenis Pengetahuan Dan Kecakapan Terhadap Kemampuan Menulis Bahasa Inggris Pada Mahasiswa Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknik PLN**



9 772356 151002

**SEKOLAH TINGGI TEKNIK - PLN (STT-PLN)**

**JURNAL POWERPLANT**

**VOL. 6**

**NO. 1**

**HAL. 1 - 65**

**MEI 2018**

**ISSN No :2356-1513**



## PENGARUH FOULING TERHADAP LAJU PERPINDAHAN PANAS PADA SUPERHEATER BOILER CFB PLTU SEBALANG

Hendri<sup>1, a \*</sup>, Suhengki<sup>2, b</sup>, dan Amru Fathony Lubis<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Mesin STT- PLN Menara PLN Jl Lingkar Luar Barat Duri Kosambi  
Cengkareng Jakarta Barat Indonesia, 11750

<sup>a</sup>hendri@sttpln.ac.id, <sup>b</sup>suhengki@yahoo.co.id

### Abstract

Salah satu unit yang paling penting dalam produksi uap pada PLTU adalah boiler. Salah satu boiler jenis PLTU sering digunakan adalah boiler tipe CFB (Circulating Fluidized Bed), dan jenis bahan bakar batu bara yang digunakan banyak mengandung zat basa. Superheater merupakan salah satu komponen terpenting pada boiler. Superheater berfungsi untuk memanaskan uap agar kandungan energi panas dan kekeringannya bertambah sehingga menjadi uap superheat. Permasalahan yang sering terjadi pada superheater yaitu penumpukan abu (fouling) yang terjadi pada tube superheater tersebut. Unsur yang paling berpengaruh pada fouling adalah material basa terutama kadar  $\text{Na}_2\text{O}$ . Bila kadar abu batubara banyak, kemudian unsur basa dalam abu juga banyak, ditambah kadar  $\text{Na}_2\text{O}$  yang tinggi, maka fouling akan mudah terjadi. Kadar sulfur yang tinggi cenderung mendorong timbulnya fouling. Fouling dapat menyebabkan penurunan laju perpindahan panas antara flue gas dengan steam pada superheater. Potensi fouling dapat diukur menggunakan suatu persamaan, tetapi persamaan tersebut hanya memperhitungkan chemical composition dari batubara tersebut. Dari penelitian diperoleh hasil terjadi penurunan laju perpindahan panas untuk high temperature superheater dari sootblowing satu ke sootblowing selanjutnya sebesar 511,8458 kW atau sekitar 3,012%. Sedangkan penurunan laju perpindahan panas untuk low temperature superheater dari sootblowing satu ke sootblowing selanjutnya sebesar 3421,506 kW atau sekitar 13,028%. Unsur yang paling berpengaruh pada fouling adalah material basa terutama Na, yang dalam hal ini kadar  $\text{Na}_2\text{O}$ . Potensi terjadinya fouling yang dihitung dari data analisis fly ash menunjukkan nilai potensi fouling sebesar 4,0069 yang masuk dalam kategori potensi fouling tinggi pada fly ash lignit.

**Keywords:** superheater, fouling, fly ash,

### I. PENDAHULUAN

PLTU Sebalang menggunakan boiler tipe CFB (Circulating Fluidized Bed). Pada boiler tipe CFB superheater terdapat pada heat recovery area atau backpass. Superheater digunakan sebagai pemanas lanjut uap agar uap tersebut menjadi uap kering. Pemanasan pada superheater diambil dari panas gas buang hasil pembakaran di ruang pembakaran (furnace). Gangguan yang sering terjadi pada superheater khususnya final secondary superheater yaitu fouling. Fouling merupakan fenomena menempel dan menumpuknya abu pada dinding penghantar panas (super heater maupun re-heater) yang dipasang di lingkungan dimana suhu gas pada bagian belakang furnace lebih rendah dibandingkan suhu melunak abu (ash softening temperature). (Sumarno, dkk, 2014)

Peranan superheater pada power plant sangat vital. Apabila performanya mengalami gangguan sehingga kinerjanya menurun, maka tingkat keadaan uap yang dihasilkan menjadi lebih rendah dan daya yang dihasilkan turbin menjadi rendah. Penurunan kinerja pada superheater tersebut disebabkan menurunnya efektifitas perpindahan panas dalam alat tersebut akibat terjadinya pengotoran permukaan (fouling). Pada umumnya peranan kinerja alat tersebut di luar gangguan masalah teknik sistem mekanisnya, disebabkan oleh menurunkan efektifitas dan karakteristik perpindahan panas di dalam alat yang terjadi pada superheater yang disebabkan oleh pengotoran permukaan pipa akibat proses pembakaran di dalam boiler, maupun pengotoran dalam pipa yang disebabkan oleh aliran fluida (Sugiarto, 2011).

Efektifitas penggunaan bahan bakar fosil untuk pembangkit tenaga bergantung dari kemampuan peralatan pembangkit uap untuk mengakomodasi sisa pembakaran tak aktif yang umumnya disebut ash (abu). Kuantitas dan karakteristik dari ash tidak dapat dipisahkan dari bahan bakar yang merupakan perhatian utama dari desain dan operasi dari peralatan pembangkit listrik. Pada umumnya bahan bakar komersial mengandung sejumlah ash yang menjadi pertimbangan dalam desain dan operasi yang spesifik. Ash akan menurunkan nilai kalor bahan bakar dan membuat fuel storage menjadi berat, maka diperlukan peralatan yang besar untuk mengumpulkan dan memindahkan ash. Dalam boiler pembakaran batu bara pulverized, umumnya ash batubara terbawa ke furnace oleh produk gas hasil pembakaran (flue gas). Partikel gas yang terbawa dalam aliran gas dapat menimbulkan masalah erosi dan korosi pada permukaan yang dilalui panas konveksi. Namun, masalah utama dari ash adalah endapannya. Endapan inilah yang menyebabkan terjadinya fouling pada pipa boiler.(Amaliyah, 2011).

Fouling sudah menjadi masalah sejak alat penukar kalor ditemukan. Fouling dapat didefinisikan sebagai pembentukan lapisan deposit pada permukaan perpindahan panas dari suatu bahan atau senyawa yang tidak diinginkan. Pembentukan lapisan deposit ini akan terus berkembang selama alat penukar kalor dioperasikan. Akumulasi deposit pada permukaan alat penukar kalor menimbulkan kenaikan pressure drop dan menurunkan efisiensi perpindahan panas. Untuk menghindari penurunan performance alat penukar kalor yang terus berlanjut dan terjadinya unpredictable cleaning, maka diperlukan suatu informasi yang jelas tentang tingkat pengotoran untuk menentukan jadwal pembersihan (cleaning schedule). Keterlibatan beberapa faktor diantaranya jenis alat penukar kalor, jenis material yang dipergunakan dan fluida kerja : jenis fluida, temperatur fluida, laju alir masa, jenis dan konsentrasi kotoran yang ada dalam fluida, dll., menjadikan fouling suatu masalah yang sangat kompleks, sehingga dalam melakukan pengukuran tingkat pengotoran ini menjadi sulit, oleh karena itu diperlukan suatu teknik analisa yang dapat mempermudah dan mempercepat pengukuran tersebut, diharapkan dengan bantuan teori bilangan tak berdimensi

kesukaran pengukuran ini dapat dikurangi. (Sunandar, 2003)

Sebelumnya sudah ada penelitian yang membahas masalah fouling, diantaranya menyimpulkan bahwa ada suatu korelasi inier antara besarnya faktor pengotoran  $R_f$  dengan bilangan tak berdimensi  $K_s$ , sehingga bilangan  $K_s$  dapat dipakai untuk menentukan besarnya faktor pengotoran, dan nilai  $R_f$  berkisar antara nol dan satu (Sunandar, 2003). Sedangkan dari sisi komposisi bahan bakar batu bara diperoleh hasil bahwa analisis ash dan ash Fusion Temperature, terlihat bahwa batu bara campuran diklasifikasikan sebagai ash lignit dengan potensi slagging yang rendah ( $R_s=2735,6$ ) dan potensi fouling yang rendah-sedang ( $R_f=0,25$ ). (Amaliyah, 2011). Sedangkan unsur yang paling berpengaruh pada fouling adalah material basa terutama Na, yang dalam hal ini kadar  $Na_2O$ . Bila kadar abu batubara banyak, kemudian unsur basa dalam abu juga banyak, ditambah kadar  $Na_2O$  yang tinggi, maka fouling akan mudah terjadi. Indeks fouling yang dihitung dari data analisis batubara pada pasokan tanggal 1 November 2013 menunjukkan nilai  $R_f = 0,346$  yang masuk dalam kategori indeks fouling medium pada ash bituminous. Fouling akan berpengaruh pada proses perpindahan panas yang terjadi pada final secondary superheater antara steam dan flue gas (Sumarno, 2014). Faktor pengotoran ini menjadi penyebab utama mengapa alat superheater yang digunakan pada instalasi pembangkit listrik harus mengalami cleaning.

Dari studi pustaka belum ada riset yang membahas pengaruh fouling terhadap karakteristik perpindahan panas pada peralatan superheater di pembangkit. Oleh karena itu pada kesempatan ini diajukan proposal penelitian yang berjudul “Pengaruh Fouling Terhadap Karakteristik Perpindahan Panas Pada Superheater Boiler Jenis CFB” Metode penelitian yang digunakan adalah metode deskriptif, dan data-data yang digunakan adalah hasil operasi dan pengujian PLTU Sebalang pada tahun 2017.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

*Fouling* adalah fenomena menempel dan menumpuknya abu batu bara yang melebur pada pipa penghantar panas (*heat exchanger tube*) ataupun dinding boiler. Kedua hal ini sangat serius karena dapat memberikan dampak yang besar pada operasional boiler, seperti masalah

penghantaran panas, penurunan efisiensi boiler, tersumbatnya pipa, serta kerusakan pipa akibat terlepasnya clinker. Fenomena menempelnya abu ini terutama dipengaruhi oleh suhu melebur abu AFT (*Ash Fusion Temperature*), dan unsur – unsur dalam abu. Selain kedua faktor tadi, evaluasi terhadap masalah ini juga dapat diketahui melalui perhitungan rasio terhadap beberapa unsur tertentu dalam abu. *Fouling* merupakan fenomena menempel dan menumpuknya abu pada dinding penghantar panas yang dipasang di lingkungan dimana suhu gas pada bagian belakang *furnace* lebih rendah dibandingkan suhu melunak abu (*ash softening temperature*).

Unsur yang paling berpengaruh pada penempelan abu ini adalah material basa terutama Na, yang dalam hal ini adalah kadar  $\text{Na}_2\text{O}$ . Bila kadar abu batubara banyak, kemudian unsur basa dalam abu juga banyak, ditambah kadar  $\text{Na}_2\text{O}$  yang tinggi, maka *fouling* akan mudah terjadi. Evaluasi karakteristik *fouling* sama dengan untuk *slagging*, yaitu dinilai berdasarkan rasio unsur basa dan asam, serta kadar  $\text{Na}_2\text{O}$  di dalam abu. Jika nilai – nilai tadi tinggi, maka secara umum kecenderungan *fouling* juga meningkat. Selanjutnya, kadar sulfur yang tinggi juga cenderung mendorong timbulnya *fouling* melalui pembentukan senyawa bersuhu lebur rendah, melalui persenyawaan dengan unsur basa ataupun besi.

Berdasarkan proses terbentuknya endapan atau kotoran, faktor pengotoran dibagi lima jenis, yaitu :

- 1) Pengotoran akibat pengendapan zat padat dalam larutan (*precipitation fouling*). Pengotoran ini biasanya terjadi pada fluida yang mengandung garam-garam yang terendapkan pada suhu tinggi, seperti garam kalsium sulfat, dll.
- 2) Pengotoran akibat pengendapan partikel padat dalam fluida (*particulate fouling*). Pengotoran ini terjadi akibat pengumpulan partikel-partikel padat yang terbawa oleh fluida di atas permukaan perpindahan panas, seperti debu, pasir, dll.
- 3) Pengotoran akibat reaksi kimia (*chemical reaction fouling*). Pengotoran terjadi akibat reaksi kimia didalam fluida, diatas permukaan perpindahan panas, dimana material bahan permukaan perpindahan panas tidak ikut bereaksi, seperti adanya reaksi polimerisasi, dll.
- 4) Pengotoran akibat korosi (*corrosion fouling*). Pengotoran terjadi akibat reaksi

kimia antara fluida kerja dengan material bahan permukaan perpindahan panas.

- 5) Pengotoran akibat aktifitas biologi (*biological fouling*). Pengotoran ini berhubungan dengan aktifitas organisme biologi yang terdapat atau terbawa dalam aliran fluida seperti lumut, jamur, dll.

Untuk menilai indeks *fouling* yang menempel pada abu tergantung pada kadar dari  $\text{Na}_2\text{O}$  dan tergantung dari jenis baru baranya. Berikut ini akan dijelaskan beberapa cara penilaian terhadap *fouling*.

#### 1. Metode Evaluasi Representatif

Sebagaimana dijelaskan sebelumnya bahwa faktor utama yang mempengaruhi kondisi menempelnya abu adalah  $\text{Na}_2\text{O}$ . Oleh karena itu, perusahaan B & W menentukan penilaian *fouling* berdasarkan persamaan di bawah ini.

- (a). Untuk pembagian tipe abu juga sama dengan untuk *slagging*.

Abu tipe bituminus ( $\text{CaO} + \text{MgO} < \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) Indeks *fouling* untuk *ash bituminous* didapatkan dari karakteristik kekuatan sintering menggunakan kandungan *sodium* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) dari ash batubara dan rasio dasar dari asam ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ):

$$\text{Rf} = \frac{(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})}{(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2)} \times \text{Na}_2\text{O}$$

(1)

**Tabel 1.** Standar Nilai Indeks Fouling Bituminus

Potensi fouling	Nilai RF
Low	$0.2 <$
Medium	$0.2 \sim 0.5$
High	$0.5 \sim 1.0$
Severe	$> 1.0$

- (b). Abu tipe lignit ( $\text{CaO} + \text{MgO} > \text{Fe}_2\text{O}_3$ )

Klasifikasi *fouling* untuk ash batubara lignit adalah berdasarkan kandungan sodium dalam ash sebagai berikut :

$$\text{Rf} = \text{kadar } \text{Na}_2\text{O} (\%) \quad (2)$$

**Tabel 2.** Standar Nilai Abu Type Lignit

Potensi fouling	Nilai Rf
Low	$1.2 <$
Medium	$1.2 \sim 3.0$
High	$3.0 \sim 6.0$
Severe	$> 6.0$

Tingkat fouling pada penukar kalor dihitung dengan rumus,

$$R_f = R_f^* (1 - e^{-t/t_c}) \quad (3)$$

dimana  $t_c$  adalah waktu. Karena tahanan termal fouling dapat juga didefinisikan dengan rumus,

$$R_f = \frac{1}{U_f} - \frac{1}{U_c} \quad (4)$$

dimana  $U_f$  dan  $U_c$  adalah koefisien perpindahan panas menyeluruh pada kondisi tanpa fouling dan dengan fouling. Koefisien perpindahan panas menyeluruh dapat dihitung dari persamaan,

$$q = UA\Delta T_{LMTD} \quad (5)$$

dimana  $A$  adalah luas perpindahan panas, dan overall heat transfer dihitung dengan persamaan,

$$\frac{1}{U} = \frac{A_o}{A_i h_i} + \frac{A_o}{A_i} R_{fi} + \frac{A_o \ln(d_o/d_i)}{2\pi k l} + R_{fo} + \frac{1}{h_o} \quad (6)$$

Koefisien konveksi pada sisi dalam dan luar tube pada rumus (6) dihitung dengan persamaan,

$$h_i = \frac{Nu_i k_i}{d_i} \quad (7)$$

dan

$$h_o = \frac{Nu_o k_o}{d_o} \quad (8)$$

dimana  $k_o$  dan  $k_i$  pada persamaan (7) dan (8) masing-masing adalah konduktivitas termal fluida panas dan dingin.  $Nu$  pada persamaan (7) dan (8) dihitung dengan rumus, Dittus and Boelter,

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^n \quad (9)$$

Untuk  $Re > 500$  and  $0.7 < Pr < 150$ , dimana  $n=0.4$  untuk pemanasan dan  $0.3$  untuk pendinginan. Sedangkan perbedaan panas  $\Delta T_{LMTD}$  pada persamaan (5) dihitung dengan rumus,

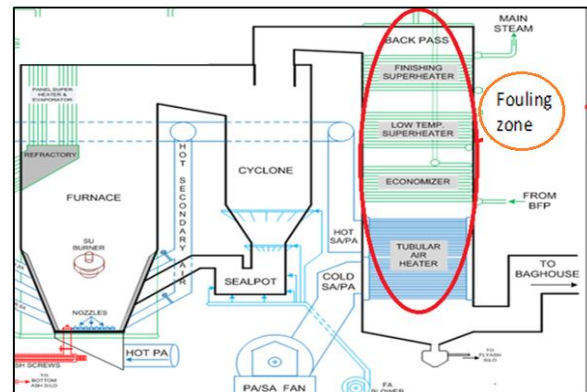
$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{i,1} - T_{o,2}) - (T_{o,1} - T_{i,2})}{\ln\{(T_{i,1} - T_{o,2}) / (T_{o,1} - T_{i,2})\}} \quad (10)$$

Efektivitas perpindahan panas pada alat penukar kalor dampak fouling untuk aliran cross flow single phase dihitung dengan rumus,

$$\varepsilon = 1 - \exp\left\{\frac{NTU^{0.22}}{C} [\exp(-C NTU^{0.78}) - 1]\right\} \quad (11)$$

### III. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk mempermudah di dalam penyelesaian masalah penelitian tentang pengaruh *fouling* terhadap laju perpindahan panas pada *superheater* boiler CFB ada PLTU Sebalang sebagai obyek penelitian seperti terlihat pada gambar,



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel Penelitian

Spesifikasi penukar kalor high temperature superheater diameter luar tube 0.042 m, inside diameter tube 0.031 m. luas permukaan luar pipa 1789m<sup>2</sup>, transverse spacing 0,1 m, longitudinal spacing 0,07913 m, jumlah tube 110, material tube 12Cr1MoVG/T91. Sedangkan spesifikasi penukar kalor pada low temperature superheater diameter luar tube 0.042 m, inside diameter tube 0.031 m. luas permukaan luar pipa 3608 m<sup>2</sup>, transverse spacing 0,1 m, longitudinal spacing 0,07217 m, jumlah tube 110, material tube 20G/15CrMoG. Penghitungan sifat-sifat fluida nilai entalpi, massa jenis, panas jenis, viskositas dinamis, dan konduktivitas termal menggunakan aplikasi software steam tab versi 2.1

Data-data operasi yang digunakan pada high temperatur superheater disajikan pada tabel 3. Low temperatur disajikan pada tabel 4. Sampel diambil pada bulan Maret 2017

Tabel 3.

Parameter	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 4	Sampel 5
Temperatur uap masuk (°C)	454.7	453.3	450.4	447.2	444.2
Temperatur uap keluar (°C)	546.6	544.4	541.0	538.2	535.9
Temperatur gas masuk (°C)	692.3	697.1	705.3	713.0	719.1
Temperatur gas keluar (°C)	574.4	580.2	588.3	592.9	602.9
Aliran massa uap (kg/s)	76.03	75.83	75.79	75.02	73.87
Tenakan uap (bar)	71.17	70.54	70.09	69.48	68.83

Tabel 4.

Parameter	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 4	Sampel 5
Temperatur uap masuk (°C)	305.8	302.8	298.9	293.5	289.3
Temperatur uap keluar (°C)	420.6	410.8	401.5	392.3	382.9
Temperatur gas masuk (°C)	574.4	580.2	588.3	595.9	602.9
Temperatur gas keluar (°C)	420.2	431.5	442.9	455.2	468.2
Aliran massa uap (kh/s)	76.03	75.83	75.79	75.02	73.87
Tenakan uap (bar)	71.17	70.54	70.09	69.48	68.83

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Potensi Fouling Pada Superheater

Pengujian Charactirization Fouling Deposits menggunakan standar ASTM D3682-2013 dan ASTM D5016-2008. Data komposisi kimia belum disajikan tabel 5.

**Tabel 5.** Hasil uji komposisi kimia pada abu fly ash,

Limestone sample	Bottom ash	Fly ash	Inert bed
SiO <sub>2</sub> (% wt)	67.10	37.20	66.80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (% wt)	13.00	15.25	13.20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (% wt)	8.15	14.40	8.50
CaO (% wt)	3.88	15.90	6.62
MgO (% wt)	1.64	8.30	2.14
TiO <sub>2</sub> (% wt)	0.49	0.56	0.57
Na <sub>2</sub> O (% wt)	4.25	4.13	0.88
K <sub>2</sub> O (% wt)	0.92	0.70	0.79
Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (% wt)	0.185	0.505	0.208
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (% wt)	0.138	0.146	0.120
SO <sub>3</sub> (% wt)	0.10	2.78	0.10

Faly ash merupakan abu yang berpotensi menempel pada dinding tube superheter. Berdasarkan hasil analisis proximate nilai kalori pada PLTU Sebalang adalah 4185,1 kcal/kg atau 17577,42 kJ/kg, dan type batubara sesuai tabel 1 adalah batubara tipe bituminous. Potensi *fouling* digunakan karakteristik kekuatan *sintering* menggunakan kandungan *sodium* (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O) dari ash batubara dan rasio dasar dari asam (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>). Mengacu pada base to acid index (eq.1), B/A=0.82, the tendency toward sedimentation is low, and base slagging  $S_R=48.53\%$  include categories high slagging, and fouling index,  $F_u=3.97$  termasuk high fouling. Kontribusi dari alkali khususnya Na<sub>2</sub>O juga menunjukkan ada potensi munculnya *fouling*. Karena bentuk cair dari elemen alkali ini akan menguap dalam *furnace* pada saat temperatur pembakaran dan juga dapat bereaksi

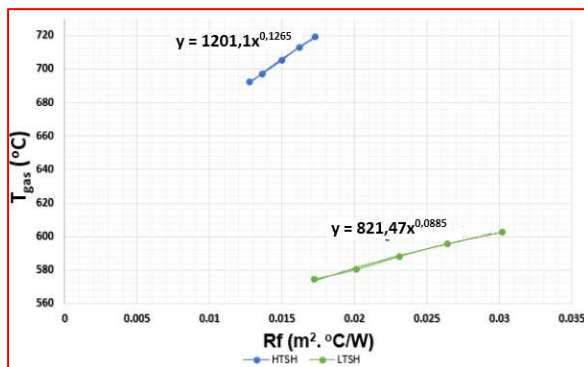
dengan sulfur dan elemen abu lainnya membentuk suatu ikatan yang memberikan kontribusi untuk terjadinya *fouling* di daerah konveksi. Nilai kalori dari batubara berdampak pada potensi timbulnya *fouling*, semakin besar nilai kalori batubara yang digunakan akan berdampak kecil pada potensi timbulnya *fouling*.

Jenis material yang dipakai untuk tube sebagai media dalam *heat exchanger* ini adalah *Heat Resistant Alloy* (12Cr1MoVG/T91 dan 20G/15CrMoG) merupakan bahan yang cukup kuat untuk menahan temperature kerja yang tinggi. Kandungan *chromium* berfungsi menambah *wear resistance* sehingga kemungkinan terjadinya erosi dikarenakan korosi dan *fouling* juga semakin rendah. Kandungan *molybdenum* mencegah kerapuhan dan menjaga kekuatan baja pada suhu tinggi. PLTU dengan tipe boiler CFB menggunakan bahan bakar batubara. Batubara yang dibakar menyisakan abu, abu yang cukup ringan (*fly ash*) akan terbawa oleh flue gas dan menempel pada pipa-pipa pemanas pada *heat recovery area/backpass*.

Penanganan *fouling* yang terjadi pada *superheater* dapat diatasi salah satunya dengan menggunakan *sootblower*. Jika dilihat kembali pada tabel, standar nilai abu tipe lignit 3,0-6,0 merupakan potensi *fouling* yang tinggi, sehingga potensi pembentukan *fouling* untuk nilai 4,0069 dapat dikategorikan cukup tinggi. Juga kontribusi dari alkali khususnya Na<sub>2</sub>O juga menunjukkan ada potensi munculnya *fouling*. Karena bentuk cair dari elemen alkali ini akan menguap dalam *furnace* pada saat temperatur pembakaran dan juga dapat bereaksi dengan sulfur dan elemen abu lainnya membentuk suatu ikatan yang memberikan kontribusi untuk terjadinya *fouling* di daerah konveksi.

### 4.2. Peningkatan Faktor Fouling Pada Superheater

Berikut adalah grafik faktor *fouling* pada kondisi operasi *superheater*.



**Gambar 2.** Faktor *fouling* pada *superheater*

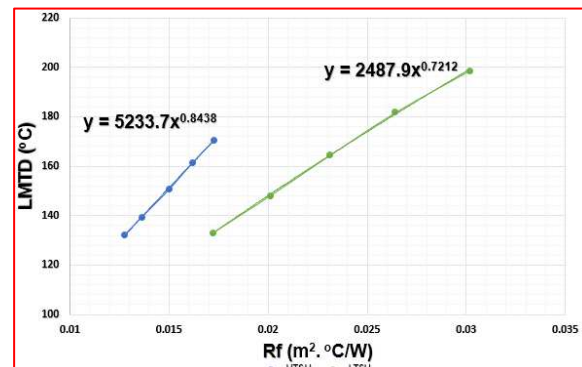
Untuk *high temperature superheater* rata-rata peningkatan tahanan termal akibat *fouling* pada tiap sampel sekitar  $0,001128 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$  atau sekitar 7,87% membentuk persamaan  $y = 1201,1x^{0,1265}$ . Sedangkan untuk *low temperature superheater* rata-rata peningkatan tahanan termal akibat *fouling* pada tiap sampel sekitar  $0,003238 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$  atau sekitar 15,06% membentuk persamaan  $y = 821,47x^{0,0885}$ . Kedua *superheater* tersebut tidak bisa dibandingkan begitu saja dikarenakan perbedaan desain dan kondisi operasinya. Akan tetapi dari gambar di atas terlihat bahwa terjadi peningkatan harga tahanan termal lapisan *fouling* pada *high temperature superheater* lebih besar dari pada pertumbuhan *fouling* pada *low temperature superheater*, hal tersebut bisa dilihat dari koefisien (gradien) dua persamaan diatas.

Kondisi menumpuknya *fouling* biasa terjadi pada alat penukar kalor yang dirancang dengan menggunakan faktor *fouling* yang konstan yang diperoleh dari standar desainnya sebesar  $0,0025 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$ , sehingga terjadilah kondisi yang tidak dapat dioperasikan sesuai dengan harga design pointnya pada saat alat tersebut mulai dioperasikan.

#### 4.3. Peningkatan Nilai LMTD Pada Superheater

Nilai LMTD (*Logarithmic Mean Temperature Difference*) adalah nilai yang berkaitan dengan perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin penukar panas [3]. *Superheater* difungsikan untuk meningkatkan kadar kekeringan uap dengan memanaskannya menggunakan *flue gas*. Tujuan perpindahan panas ini di dalam proses produksi adalah untuk memanaskan uap hingga mencapai temperatur tertentu yang diinginkan. Temperatur gas akan menurun setelah memanaskan uap, begitu pula dengan temperatur uap yang meningkat setelah

dipanaskan oleh gas, kedua hal tersebut menunjukkan adanya transfer energi panas dari fluida panas (gas) ke fluida dingin (uap). Berikut adalah grafik nilai LMTD pada kondisi operasi *superheater*.



**Gambar 3.** Pengaruh *fouling* terhadap nilai LMTD

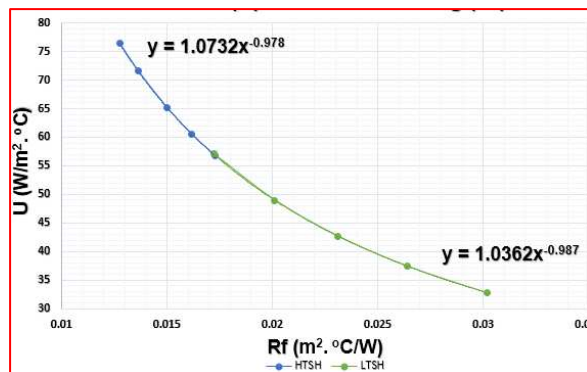
Dari grafik di atas dapat dilihat untuk *high temperature superheater* rata-rata mengalami peningkatan LMTD pada tiap sampel sekitar 6,58% atau sekitar 8,7 °C, membentuk garis linier dengan persamaan  $y = 5233,7x^{0,8438}$ . Sedangkan untuk *low temperature superheater* rata-rata peningkatan LMTD pada tiap sampel sekitar 10,53% atau sekitar 14,01 °C membentuk garis linier dengan persamaan  $y = 2487,9x^{0,7212}$ .

Kedua persamaan diatas menunjukkan bahwa faktor *fouling* berbanding lurus dengan nilai LMTD. Perbedaan temperatur LMTD pada kedua *superheater* mengalami peningkatan. Hal ini menandakan perpindahan panas antara temperatur fluida panas (gas) dan temperatur fluida dingin (uap) tidak terserap dengan baik.

#### 4.3. Penurunan Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh

Panas dialirkan secara konveksi dari fluida panas ke dinding pipa, kemudian panas dikonduksikan melalui dinding pipa dan dikonveksikan kembali dari dinding pipa ke fluida dingin pada sisi luar pipa.



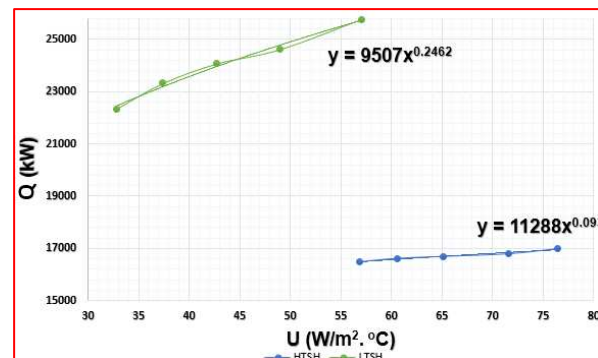


**Gambar 4.** Pengaruh *fouling* terhadap koefisien perpindahan panas global pada *superheater*

Dari grafik di atas dapat dilihat untuk *high temperature superheater* rata-rata mengalami penurunan koefisien perpindahan panas global pada tiap sampel sekitar 7,26% atau sekitar 5,54 W/m<sup>2</sup>·°C, membentuk garis melengkung (*curve*) dengan  $y = 1,0732x^{-0.978}$ . Sedangkan untuk *low temperature superheater* rata-rata penurunan koefisien perpindahan panas global pada tiap sampel sekitar 12,88% atau sekitar 7,35 W/m<sup>2</sup>·°C membentuk garis melengkung (*curve*) dengan persamaan  $y = 1,0362x^{-0.987}$ . Kedua persamaan diatas menunjukkan bahwa faktor *fouling* berbanding terbalik dengan koefisien perpindahan panas global. Penurunan koefisien perpindahan panas global pada *high temperature superheater* dan *low temperature superheater* akibat terjadi penurunan koefisien konveksi di dalam dan di luar pipa, hal tersebut disebabkan oleh menurunnya temperatur uap di dalam pipa dan meningkatnya temperatur gas di luar pipa dikarenakan perpindahan panas antara dua fluida tersebut terhambat oleh pertumbuhan *fouling*. *Fouling* yang terus tumbuh menambah tahanan termal dan menurunkan temperatur uap serta menghambat laju aliran gas.

#### 4.5. Perubahan Laju Perpindahan Panas Pada Superheater

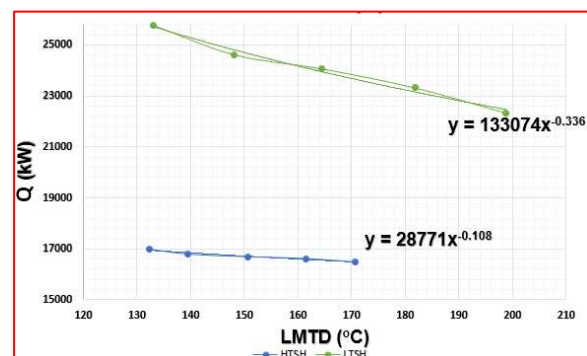
Mekanisme dari perpindahan panas yang terjadi pada *boiler* yaitu konveksi – konduksi – konveksi. Untuk proses perpindahan panasnya pada *boiler* yaitu *fly ash* menyebar pada komponen *superheater* dan merambatkan panas melalui dinding komponen, kemudian perambatan panas tersebut masuk kedalam *tube* dari komponen *superheater*.



**Gambar 5.** Hubungan dan laju perpindahan panas *superheater* dan koefisien perpindahan panas global

Apabila nilai koefisien perpindahan panas global menurun maka menghasilkan nilai kalor uap yang rendah, apabila kalor penguapan rendah maka laju perpindahan panas pada *superheater* semakin kecil.

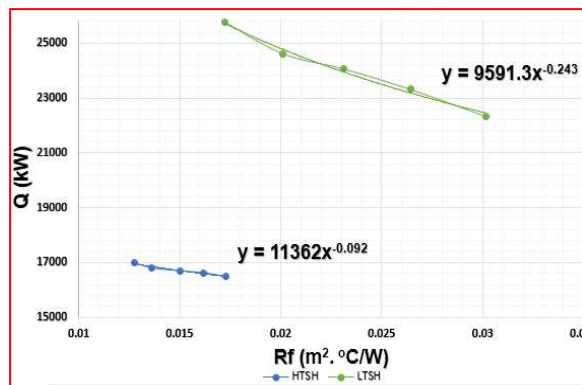
Apabila nilai perbedaan temperatur LMTD semakin tinggi artinya penyerapan gas buang ke dalam pipa terhalang hambatan-hambatan (*fouling*) dan perpindahan panas tidak maksimal, maka kalor uap yang dihasilkan rendah dan menurunkan laju perpindahan panas pada *superheater*.



**Gambar 6.** Hubungan dan laju perpindahan panas *superheater* dan nilai LMTD

Untuk pengaruh faktor *fouling* terhadap laju perpindahan panas dapat dilihat pada grafik berikut.





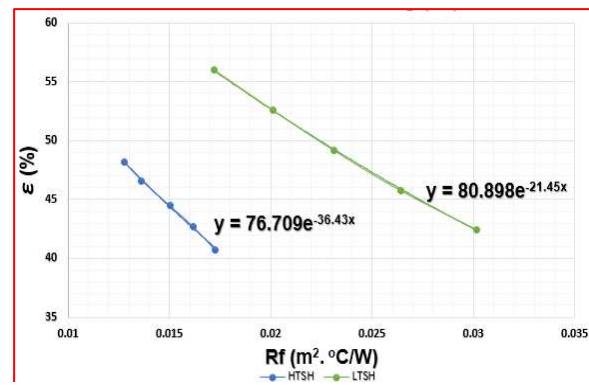
**Gambar 7.** Pengaruh *fouling* terhadap laju perpindahan panas *superheater*

Dari beberapa grafik di atas dapat dilihat bahwa terjadi penurunan laju perpindahan panas untuk *high temperature superheater* dari *sootblowing* satu ke *sootblowing* selanjutnya sebesar 511,8458 kW atau sekitar 3,012%, membentuk persamaan  $y = 11362x^{-0.092}$ . Sedangkan penurunan laju perpindahan panas untuk *low temperature superheater* dari *sootblowing* satu ke *sootblowing* selanjutnya sebesar 3421,506 kW atau sekitar 13,028%, persamaan  $y = 9591,3x^{-0.243}$ .

Dari beberapa grafik di atas dapat dilihat bahwa laju perpindahan panas pada *superheater* berbanding lurus dengan koefisien perpindahan panas global pada *superheater* dan berbanding terbalik dengan nilai LMTD dan faktor *fouling superheater* tersebut. Sehingga untuk penyebab penurunan pada laju perpindahan panas sama dengan penyebab penurunan koefisien perpindahan panas global dan penyebab peningkatan nilai LMTD. Pernyataan di atas membuktikan persamaan  $Q = U.A.F.LMTD$ .

#### 4.6. Penurunan efektifitas *superheater*

Secara umum nilai efektifitas ( $\epsilon$ ) *heat exchanger* dapat didefinisikan sebagai perbandingan laju perpindahan panas aktual dengan laju perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi pada *heat exchanger* [3]. Nilai efektifitas *superheater* juga dapat dihitung menggunakan nilai NTU (*Number of Heat Transfer Unit*). Grafik berikut menunjukkan nilai efektifitas *superheater*.



**Gambar 8.** Penurunan nilai efektifitas pada *superheater*

Grafik di atas menunjukkan efektifitas *heat exchanger* pada *high temperature superheater* dan *low temperature superheater* mengalami tren penurunan. Untuk *high temperature superheater* rata-rata penurunan efektifitas pada tiap sampel sekitar 1,6%. Sedangkan untuk *low temperature superheater* rata-rata penurunan efektifitas tiap sampel sekitar 3,38%. Kedua *superheater* tersebut tidak bisa dibandingkan begitu saja dikarenakan perbedaan desain dan kondisi operasinya. Dikarenakan mencari efektifitas *superheater* menggunakan NTU dan NTU berbanding lurus dengan koefisien perpindahan panas global, maka penyebab-penyebab penurunan pada koefisien perpindahan panas global juga menyebabkan penurunan efektifitas *superheater*. Apabila *fouling* menempel atau terbentuk pada permukaan pipa *superheater* maka akan mengganggu sistem karena dapat meningkatkan nilai resistifitas pada *superheater*.

Efisiensi pada *boiler* banyak dipengaruhi oleh proses perpindahan panas yang terjadi di dalamnya. Perpindahan panas pada *boiler* dapat ditingkatkan dengan melakukan pembersihan permukaan pipa dari abu-abu yang menempel. Pada *superheater*, *fly ash* yang merupakan hasil dari pembakaran akan menempel pada dinding-dinding permukaan pipa.

Penanganan *fouling* yang terjadi pada *superheater* dapat diatasi salah satunya dengan menggunakan *sootblower*. *Sootblower* merupakan alat mekanik yang digunakan untuk membersihkan abu dan deposit secara periodik. Alat tersebut mengarahkan media pembersihan melalui nosel terhadap abu yang telah terakumulasi pada permukaan perpindahan panas dari boiler untuk mempertahankan efisiensi perpindahan panas. Pada *superheater*, *sootblower* yang digunakan bertipe *long*

*retractable sootblower*. *Long retractable sootblower* dirancang untuk pembersihan yang efektif dari permukaan pemanas di zona suhu tinggi gas dari boiler dan penukar panas lainnya. Setiap *sootblower* dilengkapi dengan *poppet valve* untuk mengatur kebutuhan uap *sootblower*. Katup ini membuka pada saat *sootblower* dioperasikan dan menutup kembali saat *lance tube* dari *sootblower* tersebut mundur menuju stop. *Steam* yang digunakan pada *sootblower* menggunakan *steam* keluaran dari *low temperature superheater* dengan tekanan sebesar 10 bar.

Pada boiler CFB unit 1 PLTU Sebalang pengoperasian *sootblower* berdasarkan temperatur gas yang berada di dalam *backpass* yaitu tidak boleh melebihi 800 °C. Jika temperatur di dalam *backpass* sangat tinggi akan berdampak pada material pipa-pipa *superheater*, struktur material akan berubah menyebabkan pipa-pipa melengkung atau bahkan pecah dikarenakan *thermal shock*. *Thermal shock* terjadi akibat ketidakmerataan temperatur pada pipa-pipa akibat timbulnya *hotspot-hotspot* dikarenakan penumpukan *fouling*.

Pencegahan *fouling* juga dapat dilakukan dengan merancang ulang mekanisme *sootblowing* yang semula secara manual menjadi otomatis berdasarkan kondisi (temperatur dan aliran *flue gas*) di dalam *backpass*. *Sootblower* tersebut dirancang agar beroperasi secara otomatis jika kondisi di dalam *backpass* sudah dipenuhi abu dan mengurangi secara signifikan laju perpindahan panas yang terjadi pada pipa-pipa pemanas. Untuk merancang mekanisme tersebut perlu adanya pengujian lebih lanjut dengan mengevaluasi pengaruh *fouling* terhadap laju perpindahan panas pada berbagai beban yang berbeda, sehingga dari evaluasi tersebut ditentukan standar yang tepat tentang kondisi di dalam *backpass* baik temperatur, tekanan, maupun aliran *flue gas*. Selanjutnya standar tersebut dijadikan pedoman perancangan mekanisme *sootblowing* secara otomatis. Mekanisme *sootblowing* secara otomatis tersebut dapat dilengkapi dengan *alarm* dan mengoptimalkan uap yang akan digunakan untuk *blowing* dengan pengaturan yang tepat pada peralatan seperti *pressure control valve* yang mengatur tekanan uap untuk *sootblowing* yang berasal dari *low temperature superheater*. Pemeliharaan yang baik dan benar terhadap *sootblower* sangat berdampak pada kemampuan *sootblower* dalam membersihkan *fouling* pada *backpass*.

Kinerja *sootblower* yang buruk akan berdampak pada penurunan efektifitas *superheater* dikarenakan masih banyak *fouling* yang masih menempel dan tidak menutup kemungkinan *fouling* tersebut akan mengeras seiring dengan waktu operasi boiler. Untuk membersihkan *fouling* yang telah mengeras dapat dilakukan penjadwalan rutin dikarenakan *fouling* yang telah mengeras tidak dapat dibersihkan maksimal saat proses *sootblowing*.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian pada *superheater* dan menganalisis *fouling* serta pengaruhnya *superheater*, penulis dapat menarik beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Terjadi penurunan laju perpindahan panas untuk *high temperature superheater* dari *sootblowing* satu ke *sootblowing* selanjutnya sebesar 511,8458 kW atau sekitar 3,012%, membentuk persamaan  $y=11362x^{-0,092}$ . Sedangkan penurunan laju perpindahan panas untuk *low temperature superheater* dari *sootblowing* satu ke *sootblowing* selanjutnya sebesar 3421,506 kW atau sekitar 13,028%, dengan persamaan  $y=9591,3x^{-0,243}$ .
2. Unsur yang paling berpengaruh pada *fouling* adalah material basa terutama Na, yang dalam hal ini kadar Na<sub>2</sub>O. Bila kadar abu batubara banyak, kemudian unsur basa dalam abu juga banyak, ditambah kadar Na<sub>2</sub>O yang tinggi, maka *fouling* akan mudah terjadi.
3. Potensi terjadinya *fouling* yang dihitung dari data analisis *fly ash* menunjukkan nilai potensi *fouling* sebesar 4,0069 yang masuk dalam kategori potensi *fouling* tinggi pada *fly ash* lignit.
4. Terjadinya *fouling* akan berpengaruh pada proses perpindahan panas yang terjadi pada *superheater* antara uap dan *flue gas*. Dengan adanya penumpukan *fly ash* pada pipa *superheater* maka akan menghambat laju perpindahan panas yang terjadi *superheater* dan mengurangi produksi uap. Dengan adanya penumpukan *fly ash* juga akan menyebabkan timbulnya *hotspot* pada pipa-pipa *superheater*. Ketidakmerataan temperatur akibat adanya *hotspot* dapat menyebabkan *thermal shock* pada *tube* sehingga *tube* akan pecah.

## 5.2. Saran-saran

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa *fouling* menyebabkan beberapa kerugian. Dibutuhkan penanggulangan yang tepat terhadap *fouling* agar tidak menimbulkan masalah yang lebih serius.

1. Mekanisme *sootblowing* sebaiknya beroperasi secara otomatis berdasarkan kondisi di dalam *backpass*, dengan perancangan yang tepat agar pengoperasian *sootblowing* optimal dan meningkatkan laju perpindahan panas.
2. Evaluasi *fouling* sebaiknya dilakukan secara berkala dan disesuaikan dengan penggunaan batubara yang berasal dari berbagai daerah. Dari evaluasi *fouling* tersebut dapat ditentukan penggunaan batubara dari daerah mana dengan laju pertumbuhan *fouling* paling tinggi dan paling rendah. Sehingga untuk penggunaan batubara disarankan untuk menggunakan batubara dari daerah yang laju pertumbuhan *fouling*-nya paling rendah.
3. Evaluasi secara periodik terhadap kondisi operasi dapat mengungkap adanya keperluan untuk pembersihan atau mengubah kondisi operasi seperti model operasi, dan parameter kimia dari fluida, sehingga dapat ditentukan langkah-langkah penanggulangan dan pemeliharaan (*cleaning*) yang tepat.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini mendapatkan dana hibah internal STT-PLN untuk tahun anggaran 2017/2018, oleh karena itu Tim Peneliti mengucapkan kepada Ketua LPPM STT-PLN atas kepercayaan dan pendanaanya sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amaliyah, Novriany. *Analisis Komposisi Batubara Mutu Rendah Terhadap Pembentukan Slagging Dan Fouling Pada Boiler*. Makassar, 2011.
- [2] Andika Kurniawan, Ma'ruf . *Jurnal Analisis Heat Transfer Pada Superheater PT. Indocement Tunggal Prakasa, Tbk*. 2016
- [3] Cengel A. Yunus. *Heat Transfer A Practical Approach*. Second Edition,
- [4] Holman J.P. *Perpindahan Kalor*, diterjemahkan oleh Jasjfi: Erlangga, Jakarta, 1997.
- [5] Muranto, Dody. *Analisis Pengaruh Fouling Terhadap Laju Perpindahan Panas Pada Economizer PLTU Tarahan*. Jakarta, 2011.
- [6] PLTU Sebalang, Tim. *Mengenal PLTU CFB Sebalang 2x100 MW*. Sebalang. 2016.
- [7] Sadik Kakac & Hongtan Liu. *Heat Exchangers, Selection, Rating And Thermal Design*, Second Edition, 2002.
- [8] Sunandar, Kudrat. *Analisis Bilangan Tak Berdimensi Pada Proses Fouling Di Kondenser*. Bogor, 2003.
- [9] Tim CFB PT PLN (Persero) Pembangkitan Sumatera Bagian Selatan. *Pengetahuan Terapan Mengelola Pembangkit PLTU CFB Menjadikan Pembangkit Kinerja Prima Dan Ramah Lingkungan*. Palembang, 2015.
- Tris Sugiarto, Chandrasa Soekardi. *Jurnal Analisis Kinerja Alat Superheater Pada Instalasi Pembangkit Tenaga Uap*. 2015.